

京都大学工学部 正員 白石成人
 京都大学工学部 正員 松本勝
 京都大学大学院 学生員 岡南博天

1. まえがき

自然風の乱れに起因する長大橋梁の不規則振動(ガスト応答)の解析は、長大橋梁の耐風設計上重要な課題であることはよく知られている。そこで着者等は、以前よりガスト応答の問題に關して、部分模型を用いた風洞実験を行ない空カアドミタンスの測定等を続行してきた。本報告では、Laplace変換に基づいた伝達関数の概念によつて、ある与えられたランダム入力に対する過渡応答を求める1つの方法を示すものであり、風洞実験より得られた結果とアナログ計算より求められた結果とを示し、二次元流における平板状橋梁断面のたわみ/自由度振動系に關しては、ある程度の成果が得られることが確認された。

2. 空力伝達関数およびアナログシミュレーション

鉛直ガストを $v(t)$ 、たわみ振動速度を \dot{y} とすれば、ガストに起因する揚力 $L_G(t)$ および断面の運動に起因する揚力 $L_M(t)$ は、それぞれ近似的に次式で表わされる。

$$L_G(t) = \rho U b \frac{dC_F}{d\alpha} \int_0^t v(\tau) \frac{d\psi(\tau-t)}{d(\tau-t)} d\tau \quad \text{----- (1)}$$

$$L_M(t) = \rho U b \frac{dC_F}{d\alpha} \left\{ \int_0^t \dot{y} \frac{d\Phi(\tau-t)}{d(\tau-t)} d\tau + \dot{y} \Phi(0) \right\} \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 ρ : 空気密度、 U : 平均風速、 b : デッキ半幅、 $dC_F/d\alpha$: 空気力係数の勾配、 $\tau = Ut/b$: 無次元時間、 $\psi(t)$: Küssner関数、 $\Phi(t)$: Wagner関数、であり $\tau \leq 0$ に対して $v = \dot{y} = 0$ 。なお、 v は leading edge での値をとるものとし、吹上げを正、 \dot{y} は下向きを正、揚力は上向きを正にとる。

式(1)および式(2)の両辺を Laplace 変換すれば、それぞれ次式のように表わされる。

$$\mathcal{L}\{L_G(t)\} = \rho U b \frac{dC_F}{d\alpha} \mathcal{L}\{v(t)\} \cdot \mathcal{L}\{\psi\} \quad \text{----- (3)}$$

$$\mathcal{L}\{L_M(t)\} = \rho U b \frac{dC_F}{d\alpha} \mathcal{L}\{\dot{y}\} \cdot \mathcal{L}\{\Phi\} \quad \text{----- (4)}$$

ただし、 $\mathcal{L}\{\}$ は $\{\}$ 内の Laplace 変換を表わすものとし、 s は Laplace の演算子を表わす、 $s = i\omega$ 、 $k = b\omega/U$ したが、 v および \dot{y} を入力とみなし、 L_G 、 L_M をそれらの出力と考へれば、 v と L_G および \dot{y} と L_M を結びつける空力伝達関数 $H_G(s)$ および $H_M(s)$ は、それぞれ次式のように表わすことができる。

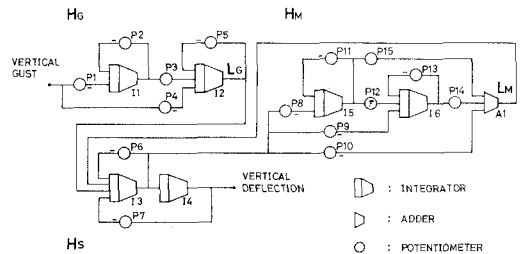
$$H_G(s) = \rho U b \frac{dC_F}{d\alpha} \mathcal{L}\{\psi(t)\} \quad \text{----- (5)}$$

$$H_M(s) = \rho U b \frac{dC_F}{d\alpha} \mathcal{L}\{\Phi(t)\} \quad \text{----- (6)}$$

ψ 、 Φ とし R. T. Jones の近似式を利用すれば、

$$\mathcal{L}\{\psi\} = \frac{(1 + 4.346s)}{(1 + 7.692s)(1 + s)} \quad \text{----- (7)}$$

$$\mathcal{L}\{\Phi\} = \frac{(1 + 1.969s)(1 + 18.60s)}{(1 + 21.98s)(1 + 3.333s)} \quad \text{----- (8)}$$



ANALOG BLOCK DIAGRAM

したがって、 $b\omega_0/U = R_0$ (ω_0 は振動系の固有円振動数)、初期減衰定数を R_0 とし、 L_M の項は dY/dt が入るものとして考慮すれば、たわみ1自由度振動系の運動方程式は次式で表わされる、

$$y'' + 2S R_0 y' + R_0^2 y = -\frac{b^2}{mU^2} \left\{ L_G(\tau) + \frac{U}{b} L_M(\tau) \right\} \quad \text{----- (9)}$$

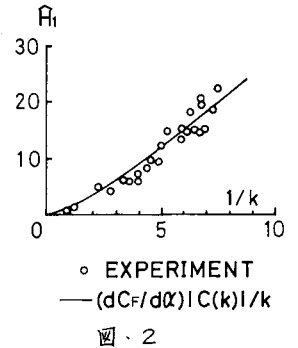
ただし(1)は τ に関する微分を表わす、式(6)~(9)および振動系の伝達関数 $H_0(s) = 1/(s^2 + 2S R_0 s + R_0^2)$ を考慮し、アナログ計算するためのブロック線図を図1に示した。(日立ALS-200Xを使用)

3. 実験結果および計算結果に対する考察

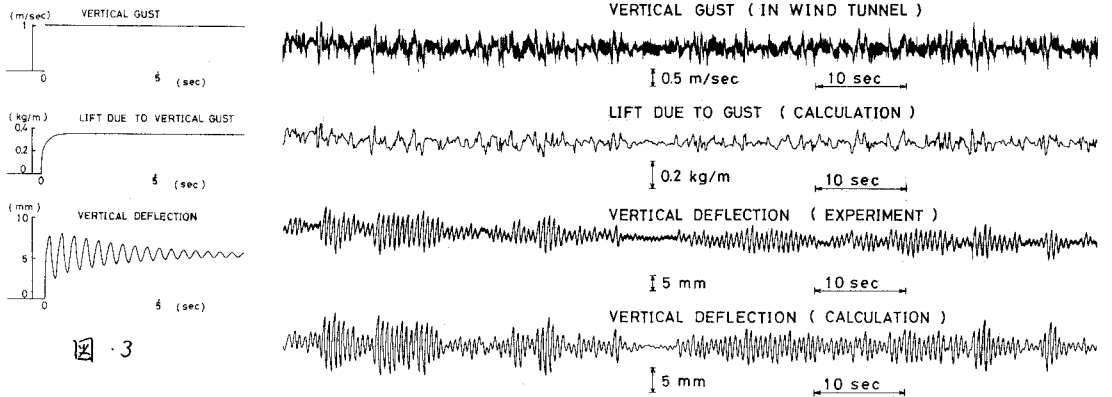
式(9)、(4)における $sL\{y\}$ 、 $sL\{y'\}$ は、それぞれSean関数 $S(k)$ 、Theodoresen関数 $C(k)$ に相当するものであるが、 L_M を近似的に式(2)で表わす場合、1つの実験的検証を示すものが図2であり、 $\hat{H}_1 = 1/H_0(k)/(\rho b^2 \omega)$ を本州四国連絡橋吊橋一断面に対する自由振動実験によって求めたものを重ねてプロットした。実験値は $dC/d\alpha = 3.325$ として $\hat{H}_1 = (dC/d\alpha) |C(k)|/k$ を示したものである。図2よりわかるように式(6)で表わされる伝達関数は、 $1/k$ に対する変化特性をよく表わしているものと考えられる。なお式(6)で表わされる $H_0(s)$ についても、ある程度の精度で妥当であることが実験的に確認されている⁽¹⁾。図3は、図1で表わされるブロック線図を有する系の入力として1/secのステップ状鉛直ガストを入れた場合の場かたわみ変位を示したものでインディケータミットに相当するものである。図4は、同部分模型を用いた風洞実験の結果に対するアナログシミュレーションを行なったもの(エから2段目と4段目)と実験結果とを示している。(実験に関する詳細は文献(1)を参照)この図よりたわみ変位に対する計算値と実験値は大体合っているものと考えられ、ここで述べた方法は、二次元流中にある平板状構造断面のたわみ1自由度振動系に対するガスト応答を推定する場合には、一応の成果が期待されるものと考えられる。

4. おわりに

ここで述べた方法は、二次元流中にある平板状構造断面のたわみ1自由度振動系を対象とする場合に限定されており、今後より一般的な問題へ拡張する必要がある。デジタル計算機と直結して使用する等の方法をとり、ガスト応答のピーク特性等に対する評価が簡単に行なえる等の利点がある。また、これはアナログ計算機の性能にも左右されるが、比較的長時間の入力データに対する解析が手軽に行なえることができる。最後に、本研究を行なうにあたり御指導いただいた中部工業大学の小西一郎教授に対して心より感謝の意を表します。



図・2



図・3

図・4

参考文献:

(1) 小西一郎, 白石成人, 松本勝也: "長大吊橋に関する動的荷風設計法の研究" 京都大学工学部橋梁研究室, 548 研究成果報告書